

Untersuchungen über die Spongiosaarchitektur des Wirbelkörpers

von MARIANNE DERLATH

Sonderdruck aus »Ärztliche Forschung«

XII. Jahrgang, Heft 6 (S. I/309—I/318) vom 10. Juni 1958

Werk-Verlag Dr. Edmund Banaschewski · München-Gräfelfing



Aus dem Pathologischen Institut
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. W. Hueck

Untersuchungen über die Spongiosaarchitektur des Wirbelkörpers

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfaßt und einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
Marianne Derlath, geb. Pohle
aus München 1957

Mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Prof. Dr. med. W. Hueck

Dekan: Prof. Dr. med. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 17. 12. 1957

Meinem Vater

in Dankbarkeit gewidmet

Inhalt

Einleitung	7
Problemstellung	8
Methodik	9
Ergebnisse der Untersuchungen	10
spezifisches Gewicht	11
Balkchenstärke (sk)	11
Balkchenabstand (s)	12
Balkchenzahl (n)	13
Besprechung der Befunde	13
Zusammenfassung	14
Literaturverzeichnis	15

Untersuchungen über die Spongiosaarchitektur des Wirbelkörpers

Die nachfolgende Arbeit befaßt sich mit der Struktur der Wirbelkörperspongiosa unter normalen, d. h. nicht krankhaften Bedingungen und untersucht die Knochenbälkchenstärke sowie den Abstand und die Dichte der Knochenbälkchen. Die dabei gefundenen und am Schluß der Arbeit kurz zusammengefaßten Ergebnisse umreißen die fließenden Übergänge zwischen physiologisch bedingten Vorgängen zu pathologischen Befunden und gewinnen insofern klinische Bedeutung, als sie das Verständnis für den normalen Knochenumwandlungsprozeß z. B. im Alter erweitern und damit der Erfassung krankhafter Zustände — wie z. B. auch der Osteoporose — als Grundlage dienen können.

This article deals with the structure of the spongiform substance of the vertebral bodies under normal, i. e. not pathological conditions and investigates the strength of the trabecula of the bones, as well as the distance and density. The results — summarized at the end of the article — demonstrate the transitions between physiological processes to pathological findings. They gain clinical significance, as they widen the understanding of normal alterations of bones, for instance in old age, and thus help to detect pathological conditions, such as osteoporosis.

Einleitung

Die wissenschaftlichen Bemühungen um die genauere Kenntnis der Anatomie und Morphologie des Knochengewebes gehen bis in das 19. Jahrhundert zurück. Es hat nicht an Verschiedenheiten der Standpunkte und der daraus resultierenden Meinungen gefehlt. Insbesondere Untersuchungen über die komplizierte Architektur der Spongiosa und die hier stattfindenden Modellierungsvorgänge mit fortschreitendem Lebensalter boten große methodische Schwierigkeiten.

Die Elementarteile der Spongiosa sind Bälkchen und Knochenplättchen, deren kleinste Einheit die Knochenfibrillen sind. Sie bilden ein unregelmäßiges Gitterwerk, dessen Maschen vom eigentlichen Knochenmark ausgefüllt werden.

H. v. Meyer lenkte 1867 den Blick erstmals auf mechanische und statische Momente, die nach seiner Meinung vorwiegend den Aufbau der Spongiosa im Knochen beherrschen. Nach seiner Darstellung entsprechen die Spongiosabälkchen den Zug- und Drucklinien und haben die Aufgabe, den Druck auf die gesamte Gelenkfläche zu verteilen. Er untersuchte vornehmlich die Spongiosa des proximalen Femurendes. Die Compacta sieht er als zusammengedrückte Spongiosa an.

Schulin hingegen betrachtete die Spongiosa — zum Teil auf Untersuchungen Virchows fußend — als den von der Resorption nicht betroffenen und stehengebliebenen Rest der ursprünglichen Compacta-Architektur. Durch Roux wurde die Lehre H. v. Meyers erweitert mit dem Begriff der „funktionellen Anpassung“, d. i. „die Fähigkeit der meisten Organe, durch verstärkte Ausübung ihrer Funktion sich in höherem Maße an dieselbe anzupassen, wie umgekehrt durch längere Zeit hindurch geringere Ausübung der Funktion in ihrer Leistungsfähigkeit herabgesetzt zu werden“.

Der Knochen folgt nach Roux dem Prinzip der funktionellen Gestalt und Struktur der Skeletteile. Diese Gedankengänge waren bereits vorher von J. Wolff ausgesprochen worden. Die Maschenweite der Spongiosa wurde jedoch von Roux bereits als durch individuelle Bildungsmechanismen beeinflusst angesehen.

Die Revision der Meyerschen Theorie wurde mitbestimmt durch die Aufnahme der Begriffe Vererbung und

Anpassung in Deutschland, die der Darwinschen Entwicklungshypothese zugrunde liegen. Roux darf somit als Vertreter der dynamischen — im Gegensatz zur mechanischen — Theorie angesehen werden.

Auch Rauber hielt die erste Fassung der Theorie H. v. Meyers nicht für ausreichend, er sieht in der Muskulatur die Veranlassung zur Ausbildung von Spongiosabälkchen.

1871 prägte Julius Wolff das Gesetz von der Transformation der Knochen, darunter versteht er diejenige Gesetzmäßigkeit, „nach welcher im Gefolge primärer Abänderungen der Form und Inanspruchnahme oder auch bloß der Inanspruchnahme der Knochen bestimmte, nach mathematischen Formeln eintretende Umwandlungen der inneren Architektur und ebenso bestimmte, denselben mathematischen Regeln folgende sekundäre Umwandlungen der äußeren Form der betreffenden Knochen sich vollziehen“.

Durch C. Culman wurde dann 1875 erstmals das innere Gefüge des Knochens mathematisch analysiert. Als hauptsächlichste Entdeckung, die H. v. Meyer noch unbekannt blieb, darf man hervorheben:

1. die rechtwinklige Kreuzung der Spongiosabälkchen,

2. das rechtwinklige Auftreffen der Bälkchen auf der äußeren Knochenoberfläche, — womit eine ältere Angabe von Humphry erweitert wurde.

Wolff befaßt sich weiter mit der Transformation der Spongiosa unter pathologischen Bedingungen. Solger versuchte experimentell nachzuweisen, daß nicht allein Zug- und Druckwirkung die Anordnung der Spongiosabälkchen bestimmen, sondern daß trotz Änderung der mechanischen Beanspruchung (z. B. durch Verpflanzung eines Knochens an eine statisch vollkommen anders belastete Stelle des Körpers) die alte Form u. U. jahrelang bewahrt werden kann. Solger zeigt außerdem, daß auch der Feinbau der Spongiosaelemente keine Beziehung zu ihrer Funktion hat und setzt sich damit in einen gewissen Gegensatz zu der rein mechanischen Anschauung.

v. Friedländer hebt die Bedeutung der Blutgefäße für die Formgebung der Spongiosa hervor, seiner Behauptung liegen eine Reihe von Studien an Injektionspräparaten über den Gefäßverlauf im Knochen im foetalen und postfoetalen Zustand zugrunde. Schon lange vor dem Auftreten des epiphysären Knochenkernes durchzieht ein reiches Netz von gefäßführenden Kanälchen den Knorpel. Im siebenten Embryonalmonat zeigen alle größeren Knorpelgebiete ein Gefäßnetz, das senkrecht von den perichondralen Blutwegen in den Knorpel eindringt. Die Endäste der Gefäße

verlaufen gegen freie Gelenkflächen senkrecht. Die Gruppierungsgesetze der Gefäßbündel des knorpeligen Skeletts werden den allgemeinen Bauprinzipien der Spongiosa gegenübergestellt und dabei weitgehende Übereinstimmungen gefunden. Damit wird die Spongiosa in ihrem Aufbau weitgehend als bereits vor jeglicher Beanspruchung determiniert angesehen.

H. Triepel führt in seinen Arbeiten den Begriff „Trajektorie“ ein und versteht darunter drei Scharen aufeinander senkrecht stehender Linie, die sich alle unter dem gleichen Winkel schneiden. Spannungstrajektorien sind Zug- und Druckkurven der graphischen Statik.

Triepel setzt sich mit der mechanischen Anschauung auseinander und kommt zu der Feststellung, daß der Verlauf der Spongiosabälkchen nicht mit dem der Spannungstrajektorien zusammenfällt, sondern die erste Bildung von Spongiosaelementen entwicklungsgeschichtlich zu erklären ist, also ohne nachweisbare Einwirkung äußerer Kräfte vorstatten geht. Mechanische Spannungen sind aber beim Aus- und Umbau mitbeteiligt.

Nach Triepel wird die Spongiosa zum größten Teil aus der kompakten Knochensubstanz herausmodelliert und läßt sich nur in ganz geringem Umfange von enchondral gebildeten Knochenbälkchen ableiten. Die Bälkchen entsprechen nur selten insubstanzierten Spannungstrajektorien. Die Architektur der Spongiosa bleibt sich geometrisch ähnlich, ist aber während des gesamten Lebens den vielfältigsten Umbauvorgängen unterworfen. Die Ursache für diese Änderung ist nach Triepel die Anpassung zur Regulierung der Kraftwege und Widerstände.

Triepel steht mit seiner Meinung im Gegensatz zu Gebhardt, der ein Verfechter der rein mechanischen Theorie war.

Schinz und Töndury befassen sich in einer neueren Arbeit besonders mit der embryonalen Knochenentwicklung und heben ebenfalls die wichtige Rolle der Blutgefäße für die Ausbildung der Spongiosa hervor.

Die Arbeiten von Bendle, Deitrich, Elbert, Filogamo, Knese, Voges und Ritschl, Lacroix und Lipp befassen sich vorwiegend mit der Histologie des Knochens.

Huber und Rouillier führten elektronenoptische Untersuchungen der kollagenen Fasern des Knochens durch.

In neueren Arbeiten wird die Knochenstruktur unter klinischen Gesichtspunkten betrachtet (Alexander, Amprino, Angerer, Arnold, Denk, Egli, Ettore, Giodano, Grilla, Grub, Lob, Mascherger, Schmori-Junghanns).

Marcel befaßte sich mit der Biochemie des Knochens.

Diese Untersuchungen gehen jedoch in eine andere Richtung und fügen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Problemstellung keine wesentlich neuen Gesichtspunkte hinzu.

Problemstellung

Die vorliegende Arbeit wurde durchgeführt im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung über die Beziehungen zwischen Skelettsystem und innerer Sekretion sowie Stoffwechselorganen (Niere) (Burkhardt, Hartl und Eder).

Hierbei ergab sich die Notwendigkeit über die planmäßige Untersuchung dieser Organe an mehreren hundert Sektionsfällen hinaus, Einzelfragen gesondert zu bearbeiten, um eine zusammenfassende Beurteilung zu ermöglichen. So wurden speziellere Untersuchungen über die funktionelle Morphologie der Epithelkörperchen (Eder und Hartl), das Verhalten des postmortalen Calcium-Phosphorspiegels im Blutserum und seine Brauchbarkeit als Indikator für den Mineralhaushalt besonders im Hinblick auf das Skelettsystem (Hartl,

Waldmann, Eder), chemische Untersuchungen über die Mineralbestandteile des Knochens, insbesondere der Wirbelkörper (Leppelmann, Heinges, Hartl, Hohmann) sowie Untersuchungen des Schädelknochens, seiner Veränderungen und insbesondere seiner Beziehungen zur hormonellen Situation (Hypophyse) (Hartl und Burkhardt) durchgeführt.

Bei dieser zuletzt erwähnten Untersuchung wurde zur Erfassung der Knochenveränderungen neben histologischen Präparaten mit Erfolg die Verwertung des spezifischen Gewichtes angewandt, eine Methode, die vergleichende Untersuchungen von Knochenveränderungen verschiedener Skeletteile gestattet (z. B. Schädelkalotte, Clavikula usw.) (Burkhardt, Hartl).

Spezieller gerichtete Untersuchungen befaßten sich mit den Veränderungen an der Spongiosa des Wirbelkörpers.

Wie aus der Einleitung hervorgeht, liegen für den Wirbelkörper insofern besondere Verhältnisse vor, als es sich hier um einen nahezu rein spongiösen Knochen handelt. Auch hier fand die Methode der Messung des spezifischen Gewichtes Anwendung (Garrelt).

Diese Arbeit möchte ein Beitrag zur Untersuchung der Architektur der Spongiosa speziell des Wirbelkörpers und ihrer Umbauvorgänge während des zunehmenden Lebensalters sein, ohne daß die Frage der statisch oder funktionell bedingten Strukturbesonderheiten hier diskutiert werden soll.

Die Struktur der Wirbelspongiosa morphologisch in so exakter Weise zu erfassen, daß ein Vergleich mit dem spezifischen Gewicht möglich ist, stößt auf große Schwierigkeiten.

Wie bereits von Burkhardt gezeigt, gibt es für die Wirbelspongiosa bei niedrigem und hohem spezifischem Gewicht mehrere theoretisch mögliche Architekturtypen:

Niedriges spezifisches Gewicht kann bedingt sein durch 1. dünne Knochenbälkchen und normale Markräume, 2. normale Knochenbälkchen und weite Markräume.

Hohem spezifischem Gewicht kann entsprechen: 1. dicke Knochenbälkchen und normale Markräume, 2. normale Knochenbälkchen und enge Markräume.

L. Burkhardt machte den Versuch, mit dem unterschiedlichen Grad der Spongiosierung verschiedene Strukturtypen zu erfassen.

Er berechnet hierzu die Grenzlinie zwischen Knochen und Marksubstanz („innere Knochenoberfläche“) und bezeichnet das Ausmaß einer Linie/cm² Bildfläche als „Spongiosierungsindex“. Der Index sagt nichts aus über die Variabilität der einzelnen Absolutwerte, sondern nur über das

Verhältnis von zwei veränderlichen Größen zueinander.

Es ist aber mit dieser Methode nicht möglich, eine Auskunft darüber zu erhalten, ob der Schwund der Knochensubstanz und damit die Strukturunterschiede bei hohem und niedrigem spezifischem Gewicht durch Verschmälnerung der Knochenbälkchen, Verminderung ihrer Anzahl oder durch beides verursacht wird.

Damit ergibt sich für die vorliegende Arbeit die Fragestellung, mit einer anderen Methode die Strukturunterschiede der Spongiosa des Wirbelkörpers so zu erfassen, daß eine Aussage über den Umfang der Veränderungen, die an den Knochenbälkchen, ihrer Stärke (sk), Anzahl (n) und ihren Abständen (s) ihren Ausdruck finden, möglich ist.

Methodik

Als fast rein spongiöser Knochen ist der Wirbelkörper zum Stadium der Spongiosa-Architektur ganz besonders geeignet, denn bekanntlich kann man allenfalls an Grund- oder Deckplatte beim Wirbelkörper von einer Art Compacta sprechen. Demzufolge müssen die baulichen Veränderungen an der Knochensubstanz hier viel enger an die Elementarstruktur der Spongiosa gebunden und mit dem räumlichen Gefüge verhaftet sein als in den gemischtgebauten Skeletteilen.

Es erschien zweckmäßig, den verwinkelten Bauplan der Wirbelspongiosa vom histologischen Schnittpräparat her aufzudecken. Dabei kam es darauf an, eine klare Vorstellung vom Feinbau der Knochenlamellen und ein genaues Bild zu haben, aus dem alle für die Gesamtkonstruktion maßgebenden Einzelheiten wie Stärke, Anzahl und Abstand der Knochenbälkchen berechnet werden können.

Von Hartl und Eder wurde in Zusammenarbeit mit Garrelt eine Methode ausgearbeitet, die in dieser Arbeit ihre Anwendung findet. Die genaue mathematische Ableitung, wird später an anderer Stelle veröffentlicht, deshalb ist die Methodik im folgenden nur insoweit dargestellt, als es für das Verständnis unbedingt erforderlich erscheint.

Die Methodik der Untersuchungen war folgende:

Aus dem bei sektionsüblicher Technik entnommenen Keil aus Brust- und Lendenwirbelsäule wurde je eine 1 cm dicke Scheibe aus dem zwölften Brustwirbelkörper (BWK) und ersten Lendenwirbelkörper (LWK) entnommen und durch Wägung in Luft und Wasser das spezifische Gewicht bestimmt. Der histologische Schnitt aus dem zwölften BWK wurde bei fünfzehnfacher Vergrößerung gezeichnet. Zur Kontrolle, daß der im einzelnen rekonstruierte Wirbelschnitt für die Struktur des Wirbelkörpers typisch ist, wurden zehn Wirbelkörper in verschiedenen Höhen (Stufenschnitte, je zehn von einem Wirbelkörper) auf die gleiche Weise behandelt.

Als Grenzwerte für die spezifischen Gewichte legten wir fest:

hohes spezifisches Gewicht ab 1.23,

niederes spezifisches Gewicht ab 1.11, alle dazwischen-

liegenden Werte rechneten wir der Gruppe *mittlere* spezifische Gewichte zu (arithmetisches Mittel 1.16).

Die nach diesen Gesichtspunkten durchgeführten Untersuchungen umfassen insgesamt 72 Individuen (38 männliche, 34 weibliche). Nicht in der Untersuchung einbezogen wurden alle Fälle mit offensichtlicher Deformierung der Wirbelsäule, struktureller Destruktion der Wirbelkörper (Metastasen o. ä.) sowie Kinder im Wachstumsalter bis zu 16 Jahren. Die Verteilung der Krankheitsfälle und die Altersgliederung entsprachen dabei einer normalen Sektionsstatistik. Es handelt sich um Gesamtauswertungen, wobei Einzelfälle unberücksichtigt blieben.

Es läßt sich jedoch weder die Veränderlichkeit noch die gegenseitige Abhängigkeit der drei strukturbestimmenden Merkmale der Spongiosa: Bälkchenstärke, -anzahl und -abstand aus der Betrachtung der natürlichen Schnittpräparate erkennen. Deshalb wurde an einem möglichst strukturgerechten Modellbeispiel einer Wirbelspongiosa eine Reihe von mathematischen Formeln entwickelt, deren genaue Ableitung in der Dissertation von Garrelt dargestellt ist, mit deren Hilfe die Auswirkungen auf den Charakter der Wirbelstruktur, die sich bei Änderung auch nur einer der maßgeblichen Größen zwangsläufig ergeben müssen, übersichtlich dargestellt und in allen theoretisch möglichen Variationen mathematisch exakt analysiert werden konnten.

Garrelt ging von der Annahme aus, daß die Spongiosa-Architektur einem Kubus mit quadratischer Grundfläche am ehesten vergleichbar sei. Der von den Eckpunkten des Würfels umschlossene Raum wird als *Gerüsteinheit* bezeichnet. Durch beliebige Aneinanderreihung nach allen sechs Kubuseiten hin gäbe sich das gedanklich zu konstruierende Gerüstwerk einer Wirbelspongiosa. Zur Vereinfachung der Rechnung ist der Querschnitt der Knochenbälkchen als quadratisch und der Übergang an den Eckpunkten als scharfkantig angenommen (Näheres siehe A. Garrelt).

Unsere Berechnungen erstreckten sich auf die strukturbestimmenden Größen k = Bälkchenstärke, s = Bälkchenabstand, n = Bälkchenanzahl aus den bei 15facher Vergrößerung gezeichneten Schnittpräparaten der Wirbelspongiosa.

Hierzu wurden die Zeichnungen einzeln auf Millimeterpapier übertragen und die für die gesamte Wirbelspongiosa typischen Bereiche durch seitliche Begrenzungslinien abgesteckt. In Abständen von 0,5 cm wird nun die Stärke der in Längs- und Querrichtung angetroffenen Knochenbälkchen mit dem Stechzirkel gemessen. Ihre Endsumme geteilt durch die Anzahl der von den einzelnen Meßlinien durchschnittenen Bälkchen ergibt dann die durchschnittliche Bälkchenstärke der in Quer- oder Längsrichtung verlaufenden Knochenbälkchen nach der Formel

$$s_k \text{ mittel} = \frac{\sum ski}{nB \times v}$$

wobei ski die Stärke eines durchschnittlichen Knochenbälkchens, nB die Anzahl der in einer Richtung angetroffenen und ausgemessenen Knochenbälkchen und v der lineare Vergrößerungsmaßstab ist.

Nach ähnlichen Gesichtspunkten errechnet sich der durchschnittliche Bälkchenabstand nach der Formel

$$s_{\text{mittel}} = \frac{L_{\text{sch}}}{nB \times v}$$

L_{sch} ist die Gesamtlänge der in einer Richtung durchgelegten Schnittlinien. Die Summe ergibt sich aus der Addition aller im Abstand von 0,5 cm durch die Zeichnung gelegten Meßlinien.

Da die in der Zeichnung durch seitliche Begrenzungslinien abgesteckten Strukturbereiche unterschiedlich große Flächenausschnitte ergeben, kann der Wert für n nicht direkt, sondern erst nach Umrechnung auf eine Vergleichsfläche von gleichbleibender Kantenlänge ermittelt werden.

Zu diesem Zweck ist die Länge der seitlichen Begrenzungslinie $A-B$ zunächst durch die lineare Vergrößerung v zu dividieren und aus

$$\frac{AB}{v} = st$$

die tatsächliche Länge des entnommenen Schnittes zu berechnen.

Die Bälkchenzahl bezogen auf die tatsächliche Länge st ergibt sich aus

$$\frac{st}{n} = nt$$

Umgerechnet auf einen Vergleichskörper von gleichbleibender Kantenlänge $S = 100$ mm ermittelt sich die Anzahl der Knochenbälkchen aus

$$n = \frac{S \times nt}{st}$$

In allen Rechnungen wurde die Anzahl der Knochenbälkchen für Längs- und Querstruktur getrennt bestimmt und dann erst auf einen strukturunabhängigen Durchschnittswert umgerechnet.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß die in der Zeichnung in horizontaler Richtung gemessenen und durch Rechnung bestimmten Werte für sk , s und n in Wirklichkeit den längsverlaufenden Spongiosabälkchen angehören, während die Werte für die tatsächliche Querstruktur in der Vertikalen ausgemessen werden müssen (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1
Fünfehnfache Vergrößerung. $AB = 10,0$ cm, $AD = 13,0$ cm.
(Im Druck verkleinert.)

Das hier angewandte Rechenverfahren entspringt der gedanklichen Vorstellung, daß man in einen Schwamm von bestimmter Porenweite und davon unterschiedlicher Wandstärke die durchschnittliche Weite der Maschen und die mittlere Dicke der Schwammwandungen berechnen kann, wenn man in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen eine ausreichend große Anzahl von Meßstäben steckt. Aus der Summe der durchstochenen Wandungen, ihrer durchschnittlichen Stärke und der Länge der Meßstäbe lassen sich die gewünschten Größen nach den angeführten Formeln ermitteln.

Beim Wirbelkörper liegt jedoch kein in allen Richtungen gleichmäßig ausgebildetes Schwammgerüst mit kubischen Maschenräumen, sondern ein längsgerichtetes Wabenwerk vor.

Daher läßt es sich nicht vermeiden, daß bei Berechnung der querverlaufenden Spongiosabälkchen mehr Längs- oder Schrägschnitte als reine Durchschnitte durch Knochenbälkchen ausgemessen wurden und sich deshalb höhere Werte ergaben. Der Fehler wird dadurch korrigiert, daß immer eine Vielzahl von Meßlinien — im Durchschnitt ca. 30 — ausgewertet und die errechnete Endsumme wieder durch die Anzahl der durchschnittlichen Knochenbälkchen dividiert wird.

Ob ein Bälkchen mehrmals oder gar nicht von der Meßlinie berührt wird, bleibt dem Zufall überlassen. Für die statisch bedeutsamere Längsstruktur verringert sich dieser Fehler, da die in horizontaler Richtung ausgemessenen Knochenbälkchen der wirklichen Längsverstrebung von den einzelnen Meßlinien so gut wie immer im rechten Winkel durchschnitten werden. Tangentialschnitte blieben unberücksichtigt.

Daß die im Einzelfall untersuchte Gewebprobe aus dem 12. BWK als typisch für die betreffende Wirbelstruktur gelten darf, haben unsere Messungen an Stufenschnitten ergeben.¹⁾

Ergebnisse der Untersuchungen

Mit der am Modell entwickelten und am rekonstruierten Schnittpräparat angewandten Berechnung war ein Weg gefunden, dem komplizierten Bauplan der Wirbelspongiosa näherzukommen.

Die Zerlegung der Wirbelarchitektur in stark vergrößerte Detailbilder als erste Aufgabe hatte dabei den Zweck, alle in Wirklichkeit vorkommenden Verschiedenheiten von sk , s und n kennenzulernen und ihre gegenseitige Abhängigkeit zu zeigen. Im einzelnen führten die Untersuchungen zu folgenden Ergebnissen:

¹⁾ Die Befunde, die mit Hilfe der mathematischen Analyse erhoben wurden, können bei der Verfasserin im einzelnen eingesehen werden.

1. Spezifisches Gewicht

Trotz allen Verschiedenheiten der baulichen Gliederung vorwiegend kompakter und überwiegend spongiöser Skeletteile verhalten sich ihre spezifischen Gewichte gleichartig. Das gleichsinnige Verhalten der spezifischen Gewichte geht eindeutig aus der graphischen Darstellung der Beziehungen ihrer Durchschnittswerte zum Alter hervor.

Wie von L. Burkhardt bereits berichtet, fällt das spezifische Gewicht aller geprüften Skeletteile (Schädelkalotte, Clavicula, Wirbelkörper) mit zunehmendem Lebensalter in bestimmter Weise ab; beim Wirbelkörper von Werten um 1,20 für die Altersgruppe 16 bis 40 Jahre, auf 1,14 bei über 70jährigen. Das für den Wirbelkörper im Vergleich zu den übrigen Skeletteilen geringere Altersgefälle muß mit der fast rein spongiösen, sehr markgewebsreichen Grundstruktur erklärt werden.

Die weibliche Gewichtskurve beginnt etwas höher und fällt gegen das 50. Lebensjahr steiler ab und endet tiefer als die männliche, die den stärksten Abfall erst nach dem 60. Lebensjahr zeigt.

Die Linien der spezifischen Gewichte von Schädeldach und Clavicula verlaufen entsprechend hierzu. Jedoch ist die durchschnittliche Altersdifferenz zwischen den extrem hohen und extrem niedrigen spezifischen Gewichten beim Wirbelkörper beträchtlich größer. Sie beträgt beim weiblichen Geschlecht 28 Jahre (34—62 J.) und beim männlichen Geschlecht 20 Jahre (44—64 J.), während sich für die spezifischen Gewichte von Schädeldach und Clavicula bei den Männern ein mittlerer Altersunterschied von knapp 7 Jahren (53,7—60,3) und bei Frauen von 24 Jahren (44 bis 68 J.) errechnet.

Unsere 72 Fälle zeigen ebenfalls ein Absinken des spezifischen Gewichtes mit zunehmendem Lebensalter wie aus der Abbildung 2 ersichtlich wird.

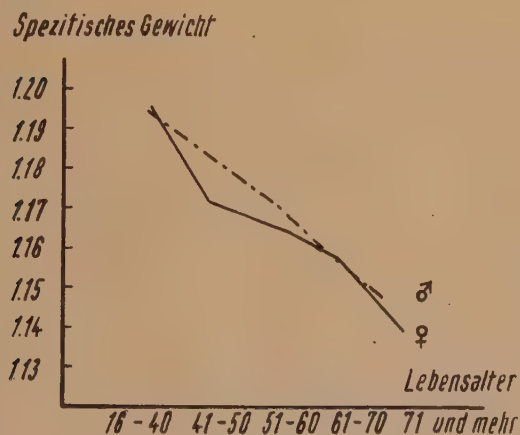


Abbildung 2

Da alle Skeletteile — unabhängig von anatomischem Bau und mechanischer Beanspruchung — gleichförmig vom Rückgang des spezifischen Gewichtes betroffen werden, liegt die Vermutung nahe, daß der Altersumbau des Skelettsystems sehr wahrscheinlich nach einem einheitlichen Grundschema verläuft. Wenn die an anderen Skeletteilen gemachten Erfahrungen auch für den Wirbelkörper zutreffen, müßte sich als eine Art Anpassung an die veränderte Stoffwechsellaage während Wachstum und Involution eine Änderung der inneren und äußeren Wirbelform nachweisen lassen. Jedoch ist am Wirbelkörper mit zunehmendem Lebensalter im Gegensatz zur Schädelkalotte *keine* nennenswerte Umgestaltung der äußeren Form — bis auf ausgesprochen pathologische Fälle, z. B. hochgradige Osteoporosen — festzustellen (nähere Angaben sind aus der Arbeit von A. Garrelt ersichtlich).

Die Unterschiede im spezifischen Gewicht können demzufolge nicht mit einer Änderung der äußeren Form, sondern nur mit Verschiedenheiten der Wirbelstruktur erklärt werden, zu deren Aufgliederung die Berechnung der drei Größen sk , s und n notwendig erscheint.

Der Wirbelkörper in seinen einzelnen Größen

$$\text{Balkchenstärke} = sk$$

Im folgenden wird die Aufgliederung von sk dargestellt.

Die Gesamthäufigkeit der Werte für sk entspricht bei beiden Geschlechtern einer parabelartigen Kurve mit einem steil zum Maximum von 53% (bei $sk = 0,141$ bis $0,180$ mm) ansteigendem und einem nach der Seite der hohen Balkchenstärken hin flacher abfallendem Schenkel.

Bei sk von $0,181$ bis $0,220$ mm erreicht sie mit 31% einen zweiten Gipfelpunkt. Werte über $0,261$ mm wurden nur beim männlichen Geschlecht gemessen. Bei den niederen Balkchenstärken ist das Geschlechtsverhältnis umgekehrt, da hier die Frauen mit $62,7 : 42,5\%$ dominieren. In der Querverstreuung treffen wir auf ganz ähnliche Gesetzmäßigkeiten. Auch hier übersteigt das männliche Geschlecht mit $63 : 48\%$ das weibliche bei den hohen Balkchenstärken und umgekehrt das weibliche mit $23 : 17\%$ die Männer bei den niederen Werten für sk .

Ebenso eindeutig lassen sich die Beziehungen zum spezifischen Gewicht und Lebensalter aufzeigen: zu einem Wirbelkörper mit *hohem spezifischem Gewicht* gehört ein *hohes* sk (Mittelwert bei Männern $0,222$ mm, bei Frauen $0,206$ mm), zu *mittlerem spezifischem Gewicht* eine durchschnittliche Balkchenstärke von $0,184$ mm beim männlichen und $0,169$ mm beim weiblichen Geschlecht, zu einem *niedrigen spezifischen Gewicht*

eine solche von 0,172 mm bzw. 0,162 mm. — Für die Querstruktur errechnen sich ähnliche Zahlenwerte.

Analog zum spezifischen Gewicht vermindert sich die Bälkchenstärke mit fortschreitendem Lebensalter in beiden Geschlechtern, bei den Männern von 0,205 mm in der Altersklasse 20 bis 40 Jahre auf 0,176 mm bei über 60jährigen; bei den Frauen von 0,201 mm auf 0,167 mm in den entsprechenden Altersklassen. Der stärkste Abfall ist beim weiblichen Geschlecht zwischen 41 und 60 Jahren und bei den Männern zwischen 61 und 80 Jahren zu verzeichnen. Im ganzen gesehen ist die Variationsbreite beim männlichen Geschlecht etwas größer als bei den Frauen.

Die Auswertung zeigt also: Es verändert sich die Bälkchenstärke in der Form, daß sie im Durchschnitt gesehen — synchron zum spezifischen Gewicht — mit zunehmendem Lebensalter absinkt. An Hand der genauen Werte zeigt sich

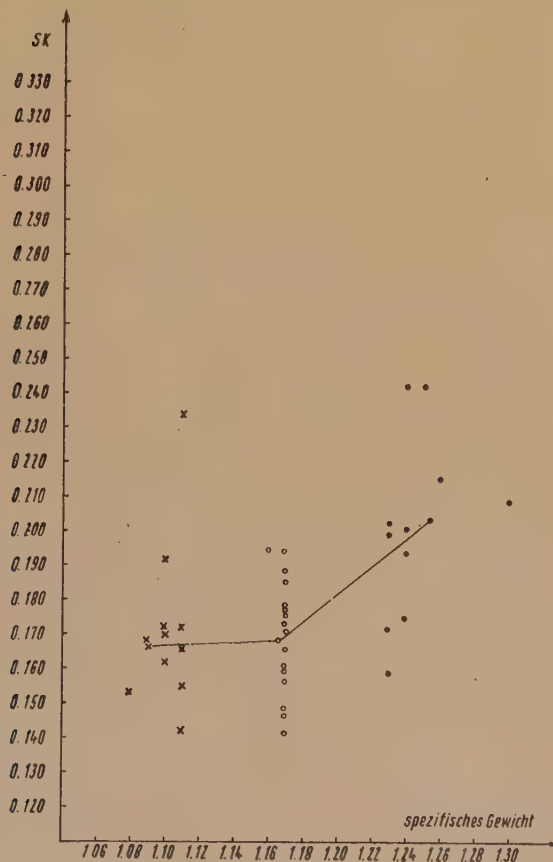


Abbildung 3

Abhängigkeit sk vom spezifischen Gewicht
(Querstruktur weiblich).

Einzelwerte sk:

bei hohem spezifischem Gewicht

bei mittlerem spezifischem Gewicht

bei niedrigem spezifischem Gewicht.

Die Kurve verbindet die Mittelwerte bei den verschiedenen spezifischen Gewichten.

jedoch, daß die Ausmaße der Verminderung relativ gering sind.

Als bemerkenswert muß dabei festgestellt werden, daß bei niedrigem spezifischem Gewicht die Werte für sk sogar etwas höher liegen. Es kann demzufolge die Abnahme des spezifischen Gewichtes *nicht allein durch die Veränderung von sk* bedingt sein.

$$\text{Bälkchenabstand} = s$$

In ganz ähnlichen Grenzen bewegen sich die Werte für s, den Bälkchenabstand, die nachfolgend betrachtet werden sollen.

Der Bälkchenabstand wurde von Vorderkante zu Vorderkante eines Bälkchens gemessen, er ist demzufolge *nicht* mit dem Markraum identisch.

Rechnet man die Bälkchenabstände bis 1,00 mm beim weiblichen Geschlecht zur Gruppe 1,01 bis 1,40 mm, so ergibt sich für beide Geschlechter eine nach der Seite der weiten Bälkchenabstände hin abfallende Kurve der Gesamthäufigkeit. Der eine Kulminationspunkt wird mit 38,5% bei $s = 1,01$ bis 1,40 mm, der zweite mit 32,5% bei $s = 1,41$ bis 1,80 mm erreicht.

Das männliche Geschlecht überwiegt bei den niederen Bälkchenabständen mit 83 : 71% und das weibliche mit 29 : 17% bei den hohen Bälkchenabständen. Abstände über 1,40 mm sind ausschließlich bei mittleren und niedrigen spezifischen Gewichten anzutreffen. Die Grenze wird von keinem der Fälle mit hohem spezifischem Gewicht überschritten. Als Mittelwerte haben sich für das hohe spezifische Gewicht bei Männern ein Bälkchenabstand von 1,19 (1,07) mm, 1,38 (1,58) mm mittl. spez. Gewicht und 1,88 (2,19) mm niedriges spez. Gewicht ergeben. (Die Zahlen zwischen den Klammern entsprechen den Werten bei Frauen.)

Mit fortschreitendem Lebensalter nimmt der Bälkchenabstand bei *Frauen* von 1,14 mm in der Altersklasse 20 bis 40 Jahre über 1,47 mm im mittleren Lebensabschnitt auf 2,20 mm bei den über 60jährigen zu und bei *Männern* von 1,16 über 1,31 auf 1,81 zu. Längs- und Querstruktur verhalten sich auch hier im Prinzip gleichartig.

Es ergibt sich hier die Tatsache, daß der Wirbelkörper der Frau bei hohem spezifischen Gewicht und im jugendlichen Lebensalter zwar dünnere Knochenbälkchen aufweist als der männliche, dafür aber entsprechend engere Abstände und eine große Anzahl von Knochenbälkchen besitzt; das Strukturgefüge ist also dichter und engmaschiger als das beim Mann.

Im späteren Lebensalter ergibt sich ein umgekehrtes Geschlechtsverhältnis, indem bei den Männern ab 40. Lebensjahr in Längs- und Querstruktur dickere Knochenbälkchen, engere Abstände und mehr Bälkchen zu finden sind als bei den Frauen.

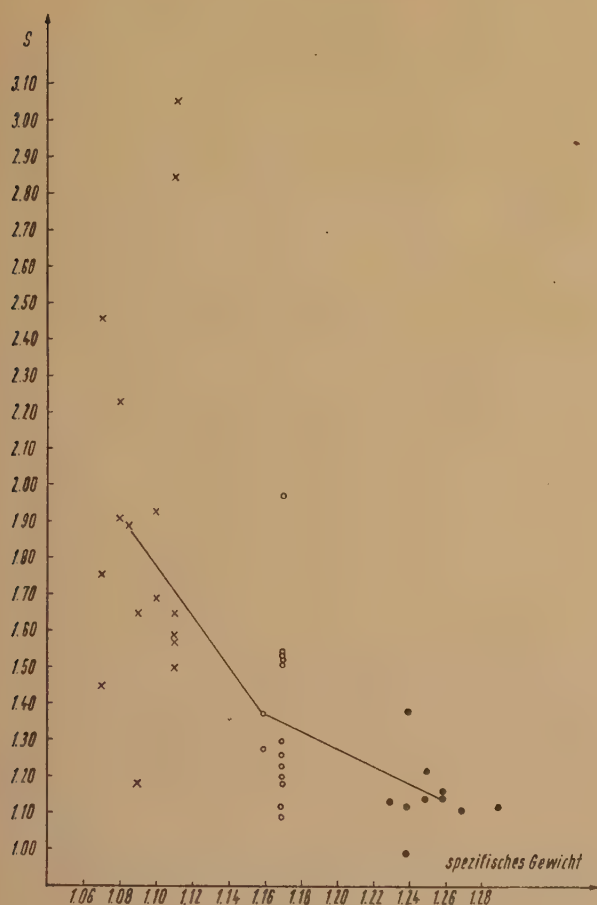


Abbildung 4

Abhängigkeit s vom spezifischen Gewicht
(Querstruktur männlich).

Einzelwerte s :

bei hohem spezifischem Gewicht

bei mittlerem spezifischem Gewicht

bei niedrigem spezifischem Gewicht.

Die Kurve verbindet die Mittelwerte bei den verschiedenen spezifischen Gewichten.

Bälkchenzahl = n

Bei der Berechnung der Bälkchenzahl, die hier zur Diskussion stehen soll, ergaben sich eindeutige Beziehungen zum spezifischen Gewicht: der Wert für n wird größer parallel zum Ansteigen der spezifischen Gewichtskurve. Diese Gesetzmäßigkeit gilt für Längs- und Querstruktur.

Beim *männlichen Geschlecht* ergab sich eine *mittlere* Bälkchenzahl bei niedrigem spezifischem Gewicht von 57, mittlerem spezifischem Gewicht von 75 und bei hohem spezifischem Gewicht von 86. — Bei den *Frauen* bei niedrigem spezifischem Gewicht von 52, mittlerem spezifischem Gewicht von 65 und bei hohem spezifischem Gewicht von 94.

Mit fortschreitendem Lebensalter nimmt die Bälkchenzahl ab: Beim *männlichen Geschlecht* in der Altersklasse 20 bis 40 Jahre mittlere Bälkchenzahl = 98, 41 bis 60 Jahre mittlere Bälkchen-

zahl = 78, 61 bis 80 Jahre mittlere Bälkchenzahl = 60.

Bei *Frauen* in der Altersklasse 20 bis 40 Jahre mittlere Bälkchenzahl = 90, 41 bis 60 Jahre mittlere Bälkchenzahl = 70, 61 bis 80 Jahre mittlere Bälkchenzahl = 51.

Bei Frauen liegt in der Altersklasse 20 bis 40 Jahre — wie bereits erwähnt — die Bälkchenzahl höher als beim Mann. Ab 41 Jahre überwiegen die Werte beim männlichen Geschlecht gering, um in der Gruppe 61- bis 80jähriger wesentlich höher zu liegen. Längs- und Querstruktur bieten auch hier wieder keine wesentlichen Unterschiede.

Besprechung der Befunde

Es wurde bereits von L. Burkhardt darauf hingewiesen, daß in der Gruppe der niedrigen spezifischen Gewichte gehäuft Fälle von Adipositas zu finden sind. Es ist auch eine dem Röntgenologen bekannte Tatsache, daß z. B. Pykniker oft eine im ganzen weniger schattengebene Knochenstruktur haben als Menschen athletischer Konstitution. Wir versuchten daher, in Bezug auf spezifisches Gewicht, Bälkchenabstand, -stärke und -anzahl zu konstitutionsgebundenen Merkmalen zu kommen.

Wir teilten dazu unsere Fälle in 3 Gruppen ein (die Aufgliederung basiert auf durchgeführten Skelettmessungen):

1. vorwiegend *Pykniker*;
2. vorwiegend *Athleten*;
3. vorwiegend *Leptosome*.

Die Aufteilung nach diesen Konstitutionstypen ergab bei 72 Fällen:

16 männl. Individ. : 15 weibl. Individ. *athlet. Types*;
10 männl. Individ. : 10 weibl. Individ. *pykn. Types*;
14 männl. Individ. : 12 weibl. Individ. *leptos. Types*.

Davon entfielen auf die einzelnen Typen die in Tabelle 1 aufgeführten Fälle.

Tabelle 1

Die <i>pyknischen</i> Typen <i>männlichen</i> Geschlechtes:	
2 Fälle mit hohem spezifischem Gewicht	
4 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht	
4 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht	
<i>weiblichen</i> Geschlechtes:	
3 Fälle mit hohem spezifischem Gewicht	
2 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht	
5 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht	
Die <i>athletischen</i> Typen <i>männlichen</i> Geschlechtes:	
2 Fälle mit hohem spezifischem Gewicht	
9 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht	
5 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht	
<i>weiblichen</i> Geschlechtes:	
1 Fall mit hohem spezifischem Gewicht	
8 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht	
6 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht	
Die <i>leptosomen</i> Typen <i>männlichen</i> Geschlechtes:	
4 Fälle mit hohem spezifischem Gewicht	

5 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht
5 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht

weiblichen Geschlechtes:

5 Fälle mit hohem spezifischem Gewicht
4 Fälle mit mittlerem spezifischem Gewicht
3 Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht

Es ergaben sich die in Tabelle 2 dargestellten Mittelwerte, errechnet aus der Querstruktur.

Tabelle 2

s = Bälkchenabstand

		niederes	spez. Gew. mittleres	hohes
Pykniker:	Männer	2,23	1,39	1,15
	Frauen	2,42	1,59	1,08
Athleten:	Männer	1,66	1,32	1,14
	Frauen	1,71	1,59	1,01
Leptosome:	Männer	1,80	1,44	1,09
	Frauen	2,40	1,65	1,10

sk = Bälkchenstärke

Pykniker:	Männer	0,178	0,181	0,230
	Frauen	0,169	0,159	0,198
Athleten:	Männer	0,167	0,182	0,207
	Frauen	0,154	0,174	0,160
Leptosome:	Männer	0,170	0,222	0,218
	Frauen	0,204	0,165	0,208

n = Bälkchenzahl

Pykniker:	Männer	47	65	86
	Frauen	47	68	91
Leptosome:	Männer	37	45	76
	Frauen	42	60	93
Athleten:	Männer	60	77	88
	Frauen	63	63	97

Wie aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlich ist, ergaben sich für die Mittelwerte zwischen den einzelnen Konstitutionstypen keine signifikanten Unterschiede. Vielleicht dürfen die relativ hohen Werte für s bei Pyknikern beiderlei Geschlechtes als Konstitutionsmerkmal gelten, wie es oben bereits angedeutet wurde. Die Verteilung der spezifischen Gewichte zeigte keine eindeutigen Besonderheiten hinsichtlich der Konstitutionstypen. Da die Anzahl der Fälle pyknischer Konstitution verhältnismäßig gering im Vergleich zu den anderen beiden Typen ist, kann vielleicht die Tatsache, daß auf 10 Fälle pyknischer Konstitution 5 mit niedrigem spezifischem Gewicht entfallen, als Konstitutionsmerkmal betrachtet werden. Um jedoch hier bindende Aussagen machen zu können, bedürfte es des Studiums einer größeren Anzahl nach diesen Gesichtspunkten ausgewählter Fälle.

Alter

Um eine übersichtlichere Darstellung zu erreichen, wurden die altersbedingten Veränderungen des spezifischen Gewichtes und der drei für den Bau der Wirbelspongiosa maßgeblichen Größen im einzelnen bereits in den entsprechenden Kapiteln beschrieben.

Die Arbeit hatte die Aufgabe, den normalen Ablauf des Spongiosaubaus mit zunehmendem

Lebensalter zu zeigen, ohne Berücksichtigung wesentlich pathologischer Fälle. Als sicher kann die Abnahme des spezifischen Gewichtes angenommen werden, diesem Absinken entspricht nach Untersuchungen von *Heinrich*, der auf Anregung von *Bürger* Knochenmessungen am Femur durchführte und deren Ergebnisse zu dem Durchmesser ihrer Spongiosa in Beziehung setzte, eine Verdünnung der Compacta bei Erweiterung des Spongiosarumes im Alter. Allerdings liegen beim Femur im Vergleich zum Wirbelkörper andere Verhältnisse vor.

Weiterhin war die Frage zu klären, welche strukturellen Veränderungen der Abnahme der Knochensubstanz mit zunehmendem Lebensalter am Wirbelkörper zugrundeliegen, die im spezifischen Gewicht ihren Ausdruck finden.

Das zusammengefaßte Ergebnis der Arbeit ist, daß diese Verminderung der Knochensubstanz, die mit indirekten Methoden erfaßt wurde, eindeutig strukturell bedingt ist, sowohl durch eine *Abnahme* der Stärke der Bälkchen wie durch eine *Zunahme* der Abstände unter Verkleinerung der Bälkchenzahl. Dabei erwies sich die Abnahme der Bälkchenstärke als relativ gering und als *nicht* entscheidend für das Absinken des spezifischen Gewichtes.

Die Veränderung des spezifischen Gewichtes beruht *vorwiegend* auf einer *Zunahme* der Bälkchenabstände in einem Ausmaß, daß diese Werte im Laufe des Lebens über das Doppelte größer werden, somit also die Rarefaktion der Knochensubstanz mit einem *Ausfall* an Knochenbälkchen einhergeht und eine *neue Struktur* geschaffen wird.

Die in dieser Arbeit angewandte Methode beschäftigte sich nur mit dem physiologischen Ablauf der Spongiosamodellierung am Wirbelkörper während des Alterns. Es bliebe Aufgabe künftiger Untersuchungen, die morphologischen Umgestaltungen, die mit der Veränderung der Bälkchenabstände einhergehen, zu erfassen, die fließenden Übergänge zwischen physiologischen und pathologischen Umbauprozessen am Knochen zu zeigen und damit die Frage der Osteoporose auf eine exaktere Basis zu stellen.

Zusammenfassung

1. Es werden die bisherigen Kenntnisse über den Aufbau der Wirbelstruktur an Hand der Literatur dargestellt.

2. An Hand 15fach vergrößerter histologischer Schnittpräparate vom 12. Brustwirbelkörper, die 72 Sektionsfällen entnommen wurden, wird versucht, Einblick in die Spongiosaarchitektur zu gewinnen.

3. Es wird eine mathematische Methode zur Analyse der Wirbelstruktur an diesen Schnitten klargelegt, mit deren Hilfe die drei strukturbe-

stimmenden Größen Bälkchenstärke (sk), -abstand (s) und -zahl (n) berechnet werden können.

4. Die Untersuchungen ergaben im Durchschnitt:

a) Es besteht ein Zusammenhang zwischen spezifischem Gewicht und Strukturdichte der Spongiosa.

b) Niedrige spezifische Gewichte entsprechen einer geringen Bälkchenstärke, hohem Bälkchenabstand und niedriger Bälkchenanzahl, mittlere spezifische Gewichte Mittelwerten dieser drei Größen und hohe spezifische Gewichte dicker Bälkchenstärke, geringem Bälkchenabstand und zahlreichen Knochenbälkchen.

5. Daraus ergibt sich, daß die Abnahme des spezifischen Gewichtes auf ein Größerwerden der Bälkchenabstände und in weitaus geringerem Umfange auf eine Veränderung von Bälkchenstärke und -zahl zurückzuführen ist.

6. Bei der Typisierung nach Konstitutionen

konnten keine eindeutigen Merkmale im Bau der Wirbelspongiosa gefunden werden. Die bisherigen Ergebnisse lassen lediglich die Annahme zu, daß bei pyknischer Konstitution gehäuft Fälle mit niedrigem spezifischem Gewicht und relativ strukturellärmerem Aufbau vorkommen.

7. Mit zunehmendem Lebensalter nimmt das spezifische Gewicht ab und es vollzieht sich ein Umbau von der für hohes spezifisches Gewicht typischen Spongiosaarchitektur in die für niedriges spezifisches Gewicht charakteristische Bauweise.

In diesen altersphysiologisch bedingten Umbauprozessen zeigen sich fließende Übergänge zu pathologisch zu wertenden Vorgängen, die in dieser Arbeit nicht mit erfaßt wurden.

Anschrift der Verfasserin: Dr. med. Marianne Derlath, Pullach bei München, Margarethenstraße 14.

Schrifttum:

1. Aeb y, E.: Über die Architektur der Spongiosa. Wiss. klin. Wschr. 1890, 1070—1080.
2. Albert, E.: Einführung i. d. Studium der Architektur der Röhrenknochen. Wien 1900.
3. Alexander, B.: Die Entwicklung der knöchernen Wirbelsäule. Fortschr. Rö.-Str. Eig. Bd. 13/1906.
4. Amprino, R.: La structure du tissu osseux enoïagée comme expression de différence dans la vitesse de l'accroissement. Arch. de Biol. 58, 315 (1947).
5. Angerer: Mikrosk. Befunde am Steißbein. Arch. f. klin. Chirurg. 191, 776 (1938); 181, 427 (1934).
6. Arnold, H.: Zur Frühgeschichte der chronischen Wirbelsäulenversteifung. Klin. Wschr. 1937, II, 1286.
7. v. Bardeleben, K.: Nekrolog. f. H. v. Meyer. Anat. Anzeiger 1892, Nr. 19—20.
8. Bendle, O.: Vergleichende Untersuchungen über die Wk-Epiphyse beim Menschen und beim Tier. Beitrag z. path. Anat. 88, 101 (1931).
9. Brösike: Über die feinere Struktur des normalen Knochengewebes. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 21, 695 (1882).
10. Bürger, M.: Altern und Krankheit. Verlag Georg Thieme, Leipzig 1947.
11. Burkhardt, L.: Über Umbau und Strukturtypen der Wirbelkörperspongiosa als Ausdruck allgem. Gesetzmäßigkeit d. Knochenmodellierung, 38. Tagg. d. Dtsch. Ges. f. Path. 1954.
12. Culman, C.: Die graphische Statik, 2. Aufl., Bd. 1, Zürich 1875 (mathem. Analys. d. inn. Gefüges der Knochen).
13. Denk, M.: Über den Grad d. Wiederausbaues b. d. Vertebra plana. Ztrbl. f. Chirurg. 1938, 338.
14. Dietrich, A.: Die Entwicklungsstörungen d. Knochens. Handbuch d. Path. Anat. u. Histolog. Bd. 11 (1929).
15. Disse, J.: Wirbelsäule (in Bardeleben: Handb. d. Anat. d. Menschen, 1, Jena 1896).
16. Dursy, E.: Entwicklungsgeschichte d. Kopfes d. Menschen. Tübingen 1869.
17. Egli, A.: Beitrag z. Kenntnis d. Fehlbildungen am Kreuzbein. Zschr. f. Anat. u. Entw. 112, 245 (1942).
18. Elbert, B. R.: Bone studies I. Fibrillare structure of adult human bones. Americ. J. Anat. 80, 35 (1947).
19. Elbert, B. R.: Bone studies II. An experimental study of the haversian-type vascular channels. Americ. J. Anat. 93, 429 (1953).
20. Ettore, E.: Experiment. Untersuchungen über Frakturen der WK. Ref. Ztrbl. Rad. 13, 686 (1932).
21. Filogamo, G.: Forma e bungezza degli osteoni della compatta delle ossa lunghe nell'uomo. Inst. di Anat. umana normale. Univ. Torino, Ric. Morfol. 22, 91 (1953).
22. v. Friedländer, F.: Beitrag z. Kenntnis der Architektur spongiöser Knochen. Anat. Hefte, Bd. 23, 234 (1904).
23. Garrelt, A.: Inaugural-Diss. München 1954.
24. Gebhardt, W.: Über funktionell wichtige Anordnungsweise d. gröb. u. feineren Bauelemente d. Wirbeltierknochens. Arch. f. Entwicklungsmechanik. 11, 383 (1901); 12, 1 (1910); 20, 187 (1905).
25. Gebhardt, W.: Auf welche Art der Beanspruchung reagiert der Knochen jeweils mit der Ausbildung einer entsprechenden Architektur? Arch. f. Entwicklgs.med. 16, 377 (1903).
26. Gegenbaur: Morphol. Jahrbuch: H. Fick: Die Bedeutung d. Epiphysenknorpels f. d. Entwicklung d. Spongiosaarchitektur im prox. Femurende. 85, 115 (1940).
27. Graumann, W.: Topogenese der Bindegewebsknochen (Untersuch. an Schädelknochen menschl. Embryonen). Anat. Inst. Göttingen. Zschr. f. Anat. und Entwicklungsgesch. 116, 14 (1951).
28. Grilla, A.: Eburnisation der gesamten WS. Ref. Ztrbl. Rad. 23, 496 (1936).
29. Grub, H.: Entwicklungsstörungen der WS. Inaug. Diss. Leipzig 1936.
30. Häupl, K.: Welche Gesetzmäßigkeiten beherrschen

- die gewerblichen Veränderungen b. Knochentransformat? Wiener klin. Wschr. 1941, II, 853.
31. His, W.: Die Häute und Höhlen des Körpers. Acad. Programm, Basel 1865.
 32. Hueck, W.: Morpholog. Pathologie, 2. Aufl. Verlag G. Thieme, Leipzig 1948.
 33. Hülsen, C.: Spez. Gewicht, Elastizität, Festigkeit d. Knochengewebes. Anzeig. d. Biol. Lab. St. Petersburg, 1890.
 34. Huber, L., und Rouillier, Ch.: Les fibrilles collagènes de l'os (Etude au microscope électronique). Inst. d. Phys. et Inst. de Path., Univ. Geneve Experientia, Basel, 7, 338 (1951).
 35. Jacobi, H.: Messungen der BW- und ob. LWS unter Berücksichtigung d. Veränderungen an Bandscheiben und WK. Beitrag path. Anat. 78, 303 (1927).
 36. Junghanns: Die neuesten und praktisch wicht. Ergebnisse d. WS-Forschung. Ztrbl. f. inn. Med. 1923, 389.
 37. Junghanns: Die entwicklungsgesch. Grundlagen d. angeborenen Kyphosen. Ref. Ztrbl. f. Chir. 1935, 2957.
 38. Junghanns: Die Frühossifikation der WK. (Bemerkungen zu Schinz und Töndury i. Fortschr. Rö.-Str.) 68, 70 (1943).
 39. Keibl, F., und Mall, F.: Handbuch d. Entwicklungsgesch. d. Menschen. Leipzig 1910, Bd. 1.
 40. Knese, K.-H., Voges, D., und Ritschl, I.: Untersuchungen über die Osteon- und Lamellenformen im Extremitätenskelett d. Erwachs. Zschr. für Zellforsch. 40, 323 (1954).
 41. Kolke, H.: Studie z. äuß. Form d. Osteone. Zschr. f. Anat. u. Entw. 115, 584 (1951).
 42. Lacroix, K.: L'organisation des os. Liege, Ed. Desver, 1949.
 43. Langerhans, P.: Beiträge z. Architektur d. Spong. Virchow Arch. 61, 229.
 44. Lipp, W.: Neuuntersuchungen des Knochengewebes (Morphologie, Histochemie und Beeinflussung durch d. periphere veget. NS durch Fermente und Hormone). Inst. f. Histol. und Embryol., Univ. Graz, Acta anat. Basel, XX, 162 (1954).
 45. Lob, A.: Die Ausheilungsvorgänge am Wirbelbruch unter besond. Berücksichtigung der Frage rheumat. Spondyl. deform. 1. Teil (Tierversuche), Dtsch. Zschr. f. Chirurg. 248, 452 (1937).
 46. Mascherga, F.: Über Osteopoikilie. Ein neuer Fall von streifiger Osteopoikilie. Ref. Ztrbl. Rad. 11, 571 (1931).
 47. Marcel, J.: Dallemagne: L'os et les mécanismes de sa formation. Les phosphates de calcium, la biochimie de l'ossification et la composition de l'os. Inst. de Thérapeutique Exp., Univ. Liege, J. d. Phys. 43, 452 (1951).
 48. Merkel: Os femoris. Virchow Arch. Bd. 59.
 49. v. Meyer, M.: Die Architektur der Spongiosa. Archiv f. Anat., Physiol. u. wissensch. Med. 615 (1867) (von Reichert und Dubois).
 50. Paumels, Fr.: Bedeutung und causale Erklärung der Spongiosaarchitektur in neuer Auffassung. Sitzungsber. d. anat. Tagung, Bonn 1947. — Ärztl. Wschr. 1948, 23/24.
 51. Rauber: Lehrbuch d. Anat. d. Menschen. 113 und 289, ff.
 52. v. Recklinghausen: Über normale und patholog. Architektur. der Knochen. Dtsch. med. Wschr. 21, 506 (1893).
 53. Reiter, A.: Die Frühentwicklg. d. menschl. WS. Zschr. d. Anat. u. Entw. 112, 185 (1943).
 54. Roux, W.: Über die Dicke d. statischen Elementarteile u. d. Maschenweite u. Subst. spong. der Knochen. Zschr. d. Orthopäd., Bd. 4, 1896.
 55. Schinz, H. R., und Töndury, G.: Zur Entwicklung d. menschl. WS: Die Frühossifikation der WK. Fortschr. Rö.-Str. 66, 253 (1942).
 56. Schick, J., und Gretsichskhin, S.: Über den funktionellen Bau der Knochenspongiosa. Arch. f. Anat. 24, 175 und dtische. Zusammenfassung, 268 (1940), aus dem Staatsrö.-Inst. Leningrad.
 57. Schmidt, R.: Vergleich. anat. Studien üb. d. mech. Bau d. Knochen und seine Vererb., Tübing. Zool. Acten, 3, 479 (1898). — Zschr. d. wissenschaftl. Zoologie, 65, 1898, zitiert i. Bd. 61.
 58. Schmori und Junghanns: Die gesunde und die kranke WS in Rö.-Bild und Klinik. G. Thieme, Stuttgart 1951.
 59. Schulz: Über die Architektur des Knochengewebes. Zschr. f. Anat. u. Entw. 1872, 2, 198.
 60. Solger, B.: Über die Architektur der Stützsubstanzen. Gratulationsschrift f. Geheimrat Welcker, Leipzig 1892.
 61. Solger, B.: Über geknickte Knochenlamellen. Anat. Anz. Jahrg. XVII, Nr. 437, 1894.
 62. Solger, B.: Zur Kenntnis der Röhrenknochen. Zool. Anz. Jahrg. IX, 1893, 1, 2.
 63. Solger, B.: Zur Kenntnis d. postembryon. Entwicklung d. Skeletts d. Säugetiere, Abhandl. Naturf. Gesellsch. Halle, Bd. XX, Jubiläumsfestschr. 1894.
 64. Solger, B.: Der gegenwärtige Stand d. Lehre v. d. Knochenarchitektur. Untersuch. d. Naturlehre d. Menschen u. d. Tiere. 16, 187 (1899).
 65. Töndury, G.: Die Bedeutung d. Chorda dors. f. d. Entwicklung d. WS. Archiv f. Vererbungsforsch., Soziologie und Rassenhygiene, 24, 237 (1949).
 66. Töndury G.: Zur Entwicklungsphysiologie u. Genetik der WS. Mitteil. Naturf. Gesellsch. Bern, 6. Bd.
 67. Töndury, G.: Neuere Ergebnisse üb. d. Entwicklungsphysiol. d. WS. Arch. f. orthopäd. Unfallchirurg. 45, 313.
 68. Triepel, H.: Die Architektur der Knochenspongiosa in neuerer Auffassung. Zschr. der Konstitutionslehre, Bd. 8, Nr. 1, 1931.
 69. Triepel, H.: Architekturen der Spongiosa bei abnormer Beanspruchung. Anat. Hefte, 25, 209 (1904).
 70. Triepel, H.: Physikalische Anatomie.
 71. Wolff, J.: Über inn. Architektur d. Knochen und ihre Bedeutung f. d. Frage des Knochenwachstums. Virchow Arch. 50, 389 (1870).
 72. Wolff, J.: Das Gesetz der Transformation d. Knochen. Berlin 1892.
 73. Wolfermann: Beitrag zur Kenntnis der Architektur der Knochen. Arch. f. Anat. 1872, 312, ff.
 74. Wyman, J.: On the cancellated structure of the human body. Boston Journ. of nat. history, 1857, p. 125—140.
 75. Zuppa, A.: Die Verkalkung des intervertebralen Pulpakernes. Arch. di Radiol. 10, 250 (1934).

Lebenslauf

Ich, Else, Ruth, *Marianne* Derlath, geb. Pohle, wurde am 7. 2. 1930 in Halle/Saale als Tochter des Facharztes für Lungenleiden Dr. med. Emil Pohle und seiner Ehefrau Else Pohle, geb. Thiele, geboren.

Von 1936 — 1940 besuchte ich die Volksschule in Leipzig, von 1940 — 1948 die Max-Klinger-Schule zu Leipzig, die ich am 4. Juli 1948 mit dem Reifezeugnis verließ.

Mit dem Wintersemester 1949/50 begann ich das Studium der Medizin an der Universität Leipzig, wo ich im WS 1951 mein Physikum ablegte. Ich setzte mein Studium an der Universität München fort und schloß es am 17. Februar 1955 mit dem Staatsexamen ab.

Vom 1. März bis 30. September 1955 arbeitete ich als Pflichtassistentin am Pathologischen Institut der Universität München, seit 1. Oktober 1955 bin ich in der Privatklinik Dr. Heinrich Müller in München-Thalkirchen tätig.

Herrn Prof. Dr. *W. Hueck* möchte ich besonders herzlich für die Übernahme des Referates danken.

Ein aufrichtiges Bedürfnis ist es mir, Herrn Dr. *M. Eder* meinen Dank für die wertvollen Anregungen, die fachliche Beratung und große Anteilnahme am Fortgang der Arbeit nach dem Tode von Herrn Dr. *Hartl* auszusprechen.

